

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-022981  
 (43)Date of publication of application : 23.01.2002

---

(51)Int.Cl.	G02B 6/12 G02B 6/42
-------------	------------------------

---

(21)Application number : 2000-204198	(71)Applicant : NEC CORP
(22)Date of filing : 05.07.2000	(72)Inventor : YAMADA HIROHITO

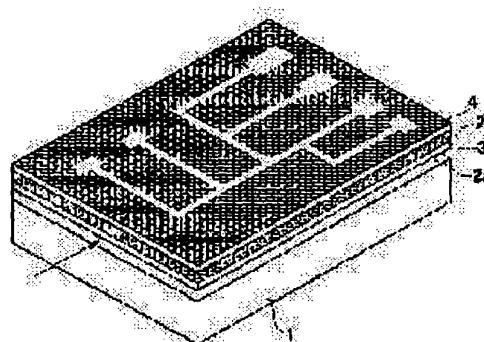
---

**(54) PHOTONIC CRYSTAL MULTIPLAYERED SUBSTRATE AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME**

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a novel form of photonic crystal optical circuit which overcomes the weak point of the photonic crystal optical circuits as the prior art and realizes higher density integration by multiple layering of the optical circuits and optical wiring and a method for manufacturing the same.

**SOLUTION:** The photonic crystal multilayered substrate is constituted by forming photonic crystal layers 3 and 4 consisting of photonic crystals having the structure two-dimensionally or three-dimensionally periodically modulated in refractive index with the sizes of about the wavelength of light, and a slab waveguide type photonic crystal structure having the photonic crystal layers 3 and 4 as cores by sandwiching these layers with clad layers 2a and 2b consisting of materials having the value of their average refractive index smaller than the average refractive index of the materials of the photonic crystal layers 3 and 4, and laminating a plurality of such slab waveguide type photonic crystal structures in a thickness direction, and also the method for manufacturing the same is provided.




---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

[decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-22981

(P2002-22981A)

(43)公開日 平成14年1月23日(2002.1.23)

(51)Int.Cl.\*

G 0 2 B 6/12  
6/42

識別記号

F I

G 0 2 B 6/42  
6/12

テ-マ-ト\*(参考)

2 H 0 3 7  
Z 2 H 0 4 7  
N

審査請求 未請求 請求項の数14 OL (全 8 頁)

(21)出願番号

特願2000-204198(P2000-204198)

(22)出願日

平成12年7月5日(2000.7.5)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (科学技術庁の平成12年度科学技術振興調整費による委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 山田 博仁

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100108578

弁理士 高橋 詔男 (外3名)

F ターム(参考) 2H037 BA02 CA36 DA03 DA06

2H047 KA03 KA12 LA23 MA07 QA04

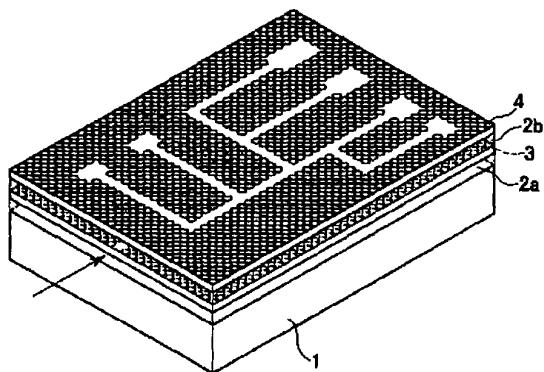
TA05

(54)【発明の名称】 フォトニック結晶多層基板およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 本発明の目的は、従来技術としてのフォトニック結晶光回路の欠点を克服し、光回路および光配線の多層化により高密度集積を実現する新しいフォトニック結晶光回路の形態と、その製造方法を提供する。

【解決手段】 光の波長程度の大きさで屈折率が2次元或いは3次元周期的に変調された構造を有するフォトニック結晶からなるフォトニック結晶層3、4と、その平均屈折率が前記フォトニック結晶層3、4の材料の平均屈折率よりも小さい値を有する材料からなるクラッド層2a、2bで挟み込むことにより、フォトニック結晶層3、4をコアとするスラブ導波路型フォトニック結晶構造を形成し、該スラブ導波路型フォトニック結晶構造を厚さ方向に複数積層したことを特徴とするフォトニック結晶多層基板およびその製造方法。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光の波長程度の大きさで屈折率が2次元或いは3次元周期的に変調された構造を有するフォトニック結晶からなるフォトニック結晶層と、前記フォトニック結晶とは屈折率が異なる材料からなるクラッド層とを有し、

前記フォトニック結晶層を前記クラッド層で挟み込んだスラブ導波路型のフォトニック結晶構造を備え、前記フォトニック結晶構造が、厚さ方向に複数積層されていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項2】 前記請求項1に記載のフォトニック結晶多層基板において、前記クラッド層の材料の屈折率が、前記フォトニック結晶層の平均屈折率よりも小さいことを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項3】 前記請求項2に記載のフォトニック結晶多層基板において、該基板の複数のフォトニック結晶層に光デバイスを形成することにより、多層光回路が形成されていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項4】 前記請求項1～3のいずれか1項に記載のフォトニック結晶多層基板において、前記クラッド層が屈折率の異なる2種類以上の物質を交互に積層した多層膜からなることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項5】 前記請求項1～3のいずれか1項に記載のフォトニック結晶多層基板において、前記クラッド層が、屈折率が2次元或いは3次元周期的に変調された構造を有するフォトニック結晶からなることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項6】 前記請求項4または5に記載のフォトニック結晶多層基板において、前記クラッド層を構成する多層膜或いはフォトニック結晶が、特定の波長の光波に対して大きな反射率を有する光学反射特性を備えていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項7】 前記請求項6に記載のフォトニック結晶多層基板において、前記クラッド層を構成する多層膜或いはフォトニック結晶が、該基板に形成された光デバイスに導入される光波に対して大きな反射率を有する光学反射特性を備えていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項8】 前記請求項3～7のいずれかに記載のフォトニック結晶多層基板において、該基板に形成された光デバイスが、層間で光信号の受け渡しを行うための機構を備えていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項9】 前記請求項8に記載のフォトニック結晶多層基板において、層間で光信号の受け渡しを行うための機構が、フォトニック結晶層に形成された光デバイスの回路面内の光導波路に沿って伝搬する光波を回路面に垂直な方向へ取り出す、或いは回路面に垂直な方向から

2

入射する光波を回路面内の光導波路に沿って伝搬するよう変換するモード変換器であることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項10】 前記請求項9に記載のフォトニック結晶多層基板において、前記モード変換器が、前記フォトニック結晶層の回路面内の光導波路の終端部分に形成された、前記光導波路を伝搬する光波と共振する共振機構により、前記光導波路を伝搬してくる光波を回路面の垂直方向へ取り出すモード変換器であることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項11】 前記請求項10記載のフォトニック結晶多層基板において、前記モード変換器が、前記フォトニック結晶層の回路面内の光導波路の終端部分に形成された、光導波路を伝搬する光波に共振する形状と大きさを有する穴と、その穴を中心として周囲を取り囲んで設けられた共振部とからなることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項12】 前記請求項8記載のフォトニック結晶多層基板において、フォトニック結晶層の回路面内に形成された光デバイスからの光信号を、別のフォトニック結晶層に形成された光導波路に受け渡すための機構が、前記フォトニック結晶層の回路面内の光導波路に沿って伝搬する光波を該光導波路の終端部分で漏洩させ、この漏洩させた光波を、前記光導波路の終端部分に近接して形成された別のフォトニック結晶層の光導波路に結合させることにより光信号の受け渡しを行うモード変換器であることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項13】 前記請求項12記載のフォトニック結晶多層基板であって、前記モード変換器が、30 テーパー状に細くなる光導波路の終端部分と、該終端部分に近接して別のフォトニック結晶層に形成された光導波路とから構成されていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【請求項14】 第1の基板上にクラッド層と、回路を形成するためのフォトニック結晶層を順次積層する工程と、

前記フォトニック結晶層に第1層目の光回路を形成して第1のウエハを作製する工程と、  
第2の基板上にフォトニック結晶層とクラッド層を順次

40 積層して第2のウエハを作製する工程と、  
前記第1のウエハと第2のウエハを、第1のウエハのフォトニック結晶層と第2のウエハのクラッド層が接合面となるように貼り合わせて第3のウエハを作製する工程と、

前記第3のウエハにおける第2のウエハの基板部分を除去する工程と、  
前記第2のウエハの基板部分を除去した後に露出するフォトニック結晶層に第2層目の光回路を形成する工程と、

50 前記の工程を複数回繰り返すことにより、フォトニック

結晶層に多層光回路を形成するフォトニック結晶多層基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はフォトニック結晶多層基板に関し、特にフォトニック結晶による微小光回路の構造とその多層化構造および多層光配線を実現するための構造、およびそれらの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光の波長オーダーでの屈折率の2次元或いは3次元周期構造体としてのフォトニック結晶が注目されている。このフォトニック結晶は、既存の光回路の大きさを3桁以上も小さくできる可能性を秘めており、光通信を始めとする微小光回路への適用が期待されている。フォトニック結晶は、ある波長の光に対して光波の伝搬を禁止するフォトニックバンドギャップを生じさせることができ、このフォトニックバンドギャップを有するフォトニック結晶中に線状欠陥を導入すると、光波をこの線欠陥部分に完全に閉じ込めることができ、さらにこの線欠陥部分に沿って光を伝搬させる光導波路として用いることもできる。

【0003】このようなフォトニック結晶光導波路の特徴としては、急峻な曲げにも対応できるため光回路パターンの自由度を大きくでき、さらにその大きさを小さくできるという特徴がある。現在、このフォトニック結晶中に光導波路を始めとする様々な光デバイスを形成し、微小光回路を構成することも考えられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これら従来技術としてのフォトニック結晶光回路には幾つかの課題がある。まず、従来の光回路の概念は一回路面内に形成するものであるため、たとえフォトニック結晶を用いて面内での光配線の急峻曲げによる回路パターン自由度の向上を実現できたとしてもその集積度には限界があった。

【0005】そこで、Si基板上の電子集積回路における電気配線の多層化の様に、集積度の向上を目的として、光回路における光配線の多層化が検討されてきたが、光配線(光導波路)の多層化は電気配線の様には容易ではなかった。その理由は、光配線(光導波路)では、光波を導波路内部に閉じ込める機構が、電気配線における電流の閉じ込めのように強くないため、2本の光導波路が接近すると互いの干渉(クロストーク)が生じることと、光導波路の急峻な曲げに対しても光波の閉じ込めが完全ではないために、前記光導波路の屈曲部分で光波の漏洩が発生してしまうからである。

【0006】さらに、1層内に形成できる光回路の規模には自ずと限界が有るために、光回路の多層化が待たれていた。しかしながら、そのような光回路の多層化への具体的構造および製造方法は従来無かった。

【0007】本発明の目的は、これら従来技術としての光回路の課題を解決し、電子集積回路の様に配線の多層化による集積度の更なる向上が可能な光回路を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。

【0009】光の波長程度の大きさで屈折率が2次元或いは3次元周期的に変調された構造を有するフォトニック結晶からなるフォトニック結晶層と、前記フォトニック結晶とは屈折率が異なる材料からなるクラッド層とを有し、前記フォトニック結晶層を前記クラッド層で挟み込んだラブ導波路型のフォトニック結晶構造を備え、前記フォトニック結晶構造が、厚さ方向に複数積層されていることを特徴とするフォトニック結晶多層基板。

【0010】上記本発明のフォトニック結晶多層基板においては、複数のフォトニック結晶層に光導波路、光分歧回路、光波長フィルター、発光素子、受光素子等の光デバイスを形成して多層光回路を構成することができる。

【0011】また、前記フォトニック結晶多層基板においては、前記クラッド層を屈折率の異なる2種類以上の物質を交互に積層した多層膜からなる構成とすることもできる。

【0012】或いは、前記フォトニック結晶多層基板においては、前記クラッド層を屈折率が2次元或いは3次元周期的に変調された構造を有するフォトニック結晶からなる構成とができる。このクラッド層は、特定の波長の光に対して大きな反射率を有する工学反射特性を備えたものとすることが好ましいが、特にフォトニック結晶層に形成された光デバイスに導入される光波に対して大きな反射率を有するものであることがより好ましい。

【0013】次に、前記フォトニック結晶多層基板においては、該基板の異なるフォトニック結晶層に形成された光デバイス間で光信号の受け渡しを行うための機構を備える構成とができる。

【0014】上記異なる層の光デバイス間で光信号の受け渡しを行うための機構は、回路面内の光導波路に沿って伝搬する光波を回路面の垂直方向へ取り出す、或いは回路面の垂直方向から入射する光波を回路面内の光導波路に沿って伝搬するように変換するモード変換器とすることができる。

【0015】また、上記モード変換器は、前記フォトニック結晶層の回路面内に形成される光導波路の終端部分に設けられて、前記光導波路を伝搬する光波と共振する機構を有し、前記光導波路を伝搬してくる光波を前記共振体により回路面の垂直方向へ取り出す機構とすることができます。

【0016】或いは、上記モード変換器は、光導波路を

伝搬する光波と共振する形状と大きさを有する穴と、その穴を中心として周りを取り囲んで設けられた共振部とからなる構成とができる。

【0017】或いは、フォトニック結晶層の回路面内に形成された光デバイスからの光信号を、別のフォトニック結晶層に形成された光導波路に受け渡すための機構は、回路面内の光導波路に沿って伝搬する光波を前記光導波路の終端部分で漏洩させ、該光波を前記光導波路の終端部分と近接して形成された別の光導波路に結合させることにより信号光の受け渡しを行う機構とすることができる。

【0018】また、上記モード変換器は、テーパー状に細くなる光導波路の終端部と、前記光導波路終端部に近接して別のフォトニック結晶層に形成された光導波路によって光デバイスからの光信号を受け渡しする構造とすることができる。

【0019】次に、本発明のフォトニック結晶多層基板は、以下の方法により任意の層構成にて製造することができる。第1の基板上にクラッド層と、回路を形成するためのフォトニック結晶層を順次積層する工程と、前記フォトニック結晶層に第1層目の光回路を形成して第1のウエハを作製する工程と、第2の基板上にフォトニック結晶層とクラッド層を順次積層して第2のウエハを作製する工程と、前記第1のウエハとこの第2のウエハを、第1のウエハのフォトニック結晶層と第2のウエハのクラッド層が接合面となるように貼り合わせて第3のウエハを作製する工程と、前記第3のウエハにおける第2のウエハの基板部分を除去する工程と、前記第2のウエハの基板部分を除去した後に露出するフォトニック結晶層に第2層目の光回路を形成する工程と、前記の工程を複数回繰り返すことにより、フォトニック結晶層に多層光回路を形成するフォトニック結晶多層基板の製造方法。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】本発明の上記並びに他の目的、特徴および利点を明確にすべく、図面を参照して本発明の実施の形態を以下に詳述する。

【0021】本発明の一実施の形態である、スラブ導波路型のフォトニック結晶多層基板の構成、およびその製造方法を以下に説明する。また、前記多層基板において多層光回路、多層光配線を形成する方法についても説明する。

【0022】図1は、本発明の一実施形態としてのスラブ導波路型フォトニック結晶多層基板を示す斜視図である。尚、図1では一例として2層構造のフォトニック結晶多層基板を示しているが、3層以上の多層構造の場合も全く同様に適用することができる。図1に示すフォトニック結晶多層基板は、Siからなる基板1上に、第1のSiO<sub>2</sub>のクラッド層2a、第1層目の光回路が形成されたSiからなる第1のフォトニック結晶層3、第2

のSiO<sub>2</sub>のクラッド層2b、第2層目の光回路が形成されたSiからなる第2のフォトニック結晶層4が順次積層された構成である。

【0023】図1において、光回路が形成された前記フォトニック結晶層3は厚さ方向にスラブ導波路構造をしており、該構造により光波をクラッド層2a、2bに挟まれたフォトニック結晶層内に閉じ込めることができるため、フォトニック結晶層の光回路間での干渉(クロストーク)を抑えることができる。

10 【0024】また、図1に示すフォトニック結晶多層基板においては、隣接するスラブ導波路構造である、第2のフォトニック結晶層4をコアとするスラブ導波路構造と、第1のフォトニック結晶層3をコアとするスラブ導波路構造が、クラッド層として第2のSiO<sub>2</sub>クラッド層2bを共有する構造となっている。

【0025】また、スラブ導波路構造を形成するためにには、クラッド層2a、2bの屈折率はフォトニック結晶層3、4の屈折率よりも小さいことが好ましい。すなわち、前記SiO<sub>2</sub>のクラッド層2a、2bを構成する材20 料の平均屈折率(SiO<sub>2</sub>の屈折率:1.5)はコアであるフォトニック結晶層3、4の平均屈折率(Siと空気の屈折率の平均値)よりも小さいことが好ましい。

【0026】次に、図1に示す本実施形態のフォトニック結晶多層基板の製造方法について、図2を参照して説明する。図2(a)～(e)は本実施形態の多層光集積回路の製造工程を示す断面構造図である。まず、図2(a)に示す様に、Si基板(第1の基板)5上に約2μm厚のSiO<sub>2</sub>クラッド層6を、その上にさらに約1μm厚のSi層7を積層したSOI(Silicon on Insulator)ウエハを作製する。その後、最上部に形成された前記Si層7に周期的に規則正しく並んだ孔を開けることによりフォトニック結晶層7を形成し、該フォトニック結晶層7に第1層目の光回路を形成することにより第1のウエハを作製する。

【0027】前記光回路を形成する方法は、最上部のSi層7をフォトニック結晶層7へと加工する際に、結晶パターン加工用のマスクに予め回路パターンを書き込んでおく方法、或いは、はじめに均一なフォトニック結晶層7を形成しておき、後からエッティングや埋め込み等により回路パターンを形成する方法がある。

【0028】次に、図2(b)に示す様に、Si基板(第2の基板)8上に約0.2μm厚のSiO<sub>2</sub>層9を、その上に約1μm厚のSi層10を、その上にさらに約2μm厚のSiO<sub>2</sub>層11を積層形成した第2のウエハを作製し、図2(a)に示す第1のウエハと貼り合わせて、第3のウエハとする。この時、第1のウエハのフォトニック結晶層7と第2のウエハのSiO<sub>2</sub>層10を対向させて接合する。尚、前記第1、第2のウエハの貼り合わせは、熱圧着等の既に確立された技術を用いる50 ことができる。

【0029】次に、図2(c)に示す様に、前記第3のウエハのSi基板8と約0.2μm厚のSiO<sub>2</sub>層9をエッチングにより除去して、Si層10を露出させる。続いて、図2(d)に示す様に、表面に露出したSi層10を先述の方法によりフォトニック結晶層12へと加工し、該フォトニック結晶層12に第2層目の光回路を形成する。尚、前記光回路を形成する方法は、先に記載の方法と同様である。

【0030】さらに、図2(b)～(d)に示す製造工程を繰り返すことにより、Si基板上に光学回路を何層にも積層することが可能である。

【0031】ところで、隣接する光回路間での光学的干渉は、フォトニック結晶層をクラッド層で挟み込んだスラブ導波路構造をとっているため、ある程度小さく抑えることができるが、前記光学的干渉をより完全に抑えるためには各回路間のクラッド層をもフォトニックバンドギャップを有するフォトニック結晶からなる構成とすることが望ましい。図3(a)～(c)は本発明の他の実施の形態であるフォトニック結晶多層基板を示す図であり、図3(a)は本形態のフォトニック結晶多層基板を示す斜視図、図3(b)はクラッド層の構成の一例を示す部分断面図、図3(c)はクラッド層の他の構成例を示す部分断面図である。

【0032】図3(a)に示す様に、本形態のフォトニック結晶多層基板は、基板上にクラッド層14a、フォトニック結晶層15a、クラッド層14b、フォトニック結晶層15b、クラッド層14c、フォトニック結晶層15c、クラッド層14dが順次積層形成された構成であり、上記に説明したフォトニック結晶多層基板の製造方法により作製されたフォトニック結晶多層基板である。

【0033】本形態において、クラッド層14a～14dとして用いるフォトニック結晶としては、光回路に導入される光波の波長帯で、完全バンドギャップを有する3次元フォトニック結晶構造が望ましいが、図3(b)に示す1次元フォトニック結晶(多層膜)16、或いは図3(c)に示す2次元フォトニック結晶17とすることもできる。1次元フォトニック結晶(多層膜)16を用いる場合には、前記多層膜に垂直に入射する光に対して、プラグ反射条件を満たすような膜厚で設計すれば良い。

【0034】尚、上記に説明した本発明の実施形態或いは他の実施形態においては、Si基板上に積層する材料として、Si(フォトニック結晶層)/SiO<sub>2</sub>(クラッド層)について示したが、GaAsの基板上にAlGaAs系材料からなる層を形成する場合や、InPの基板上にInGaAsP系材料からなる層を形成する場合についても同様の構造を適用することができる。

【0035】次に、フォトニック結晶多層基板におけるフォトニック結晶層に形成された光回路間で光信号の受

け渡しを実現する方法に関して図4～6を用いて説明する。本発明によれば、図1に示す構成、図2に示す製造方法により多層化されたフォトニック結晶基板を実現することができるが、各フォトニック結晶層の光回路間で光信号の受け渡しを行う機構を備えた構成、或いは光回路を多層化した際の層間での光信号の受け渡しを行う機構を備えた構成とすることができる。図4に光信号の受け渡し或いは、層間光コンタクトを行うことができるモード変換器の構造の一例を示す。

【0036】図4は、図1に示すフォトニック結晶多層基板のフォトニック結晶層3に形成されたモード変換器の一例を拡大して示した斜視図である。図4に示すモード変換器は、クラッド層2a、2bに挟まれたフォトニック結晶層3において、光導波路18aを伝搬する光波(光信号)18の波長に共振する形状と大きさを有する穴19aと、この穴19aを中心として周りを取り囲んで設けられたフォトニック結晶が形成されていない非加工部よりなる共振部19とからなる構成であり、この共振部19は、面内の光導波路18aの終端部分に接続されている。

【0037】本モード変換器の動作は、フォトニック結晶層3の回路面内の光導波路18aに沿って伝搬してくる光波18を回路面に垂直な方向に取り出す、或いは逆に回路面に垂直に入射する光波を面内の光導波路18aに沿って伝搬するように変換するものである。本モード変換器の場合、共振部19の中心に位置する穴19aの大きさおよび形状により共振波長を変えることができるので、光導波路18a内に導入される光波18の波長に応じて、その大きさおよび形状を適切に選ぶことにより、使用する光波18に対応した光信号の受け渡しが可能である。

【0038】また、フォトニック結晶多層基板の、異なるフォトニック結晶層に形成された光配線において、光信号の受け渡し(光学結合)を行う必要がある箇所に対向する形で本モード変換器24を2カ所に配置すれば、層間の光信号の受け渡しを実現することができる。前記光信号の受け渡しは、以下に示す様な動作により行われる。例えば、第1のフォトニック結晶層に形成された光回路の回路面内の光導波路に沿って伝搬してくる光波を

40 第1のモード変換器により回路面の垂直方向へ取り出し、第2のフォトニック結晶層へ垂直に入射する光波に変換する。続けて、前記第1のモード変換器に対向する形で配置された第2のモード変換器により、上記の第2のフォトニック結晶層の回路面に垂直に入射する光波を第2のフォトニック結晶層の回路面内の光導波路に導く。このようにして、第1のフォトニック結晶層の回路面内を伝搬する光波を、第2のフォトニック結晶層の回路面内に導くことができる。

【0039】上記の動作をするモード変換器は、図5に示す様に面発光レーザ(VCSEL: Vertical Cavity

Surface Emitting Laser) と組み合わせて用いることができる。図5は上記VCSELと組み合わせたモード変換器を備える本発明のフォトニック結晶多層基板の一形態を示す図であり、図5(a)は、前記フォトニック結晶多層基板の部分断面構造を示す図であり、図5(b)は前記フォトニック結晶多層基板の斜視図である。

【0040】図5(a)において、本形態のフォトニック結晶多層基板はVCSEL20を有するInPの基板21上に、SiO<sub>2</sub>のクラッド層22a、モード変換器24を含む光学回路が形成されたフォトニック結晶層23、SiO<sub>2</sub>のクラッド層22bが順次積層された構成である。図5(a)、(b)に示す本形態のフォトニック結晶多層基板において、VCSEL20からの出射光は回路面の垂直方向からモード変換器24に入射し、前記モード変換器24は、入射した光波を回路面内に形成された光導波路18aへ導くように動作する。

【0041】或いは、VCSEL20に代えて面入射型光検出器を前記基板21内に配置するならば、前記モード変換器24は、回路面内の光導波路18aに沿って伝搬してくる光波を面に垂直な方向に取り出し、前記面入射型光検出器に導く動作をさせることもできる。

【0042】一方、前記モード変換器は、プレナー型の半導体レーザや発光素子の光を回路内の光導波路に導く、或いは逆に光導波路からの光をプレナー型の受光素子他のデバイスに導くように動作する構成とすることもできる。上記の構成および動作を図6を参照して以下に説明する。

【0043】図6は、プレナー型の光デバイスからの光波をフォトニック結晶層の回路面内の光導波路に導くための機構を備えた本発明のフォトニック結晶多層基板の一形態を示し、図6(a)は、本形態のフォトニック結晶多層基板の部分断面構造を示す図であり、図6(b)は本形態のフォトニック結晶多層基板の斜視図である。図6(a)、図6(b)に示す本形態のフォトニック結晶多層基板は、プレナー型半導体レーザ25を有するInPの基板26上にSiO<sub>2</sub>のクラッド層27a、モード変換器29および光学回路が形成されたフォトニック結晶層28、SiO<sub>2</sub>のクラッド層27bが順次積層された構成である。尚、前記モード変換器29は前記フォトニック結晶層28において、前記プレナー型半導体レーザ25の先端部25aに対向する位置に配置されている。

【0044】図6に示す本形態のフォトニック結晶多層基板においては、2つの導波路の一部を光学的に結合させることにより、光波の層間受け渡しを行うことができる。図6(a)に示すプレナー型半導体レーザ25の先端部25aは、その厚さが先端に向かってテーパー状に薄くなるような形状のテーパー型光導波路を有しているため、光導波路の先を細くしていくと光波が前記テーパー型光導波路から染み出して放射されようとする特性に

より、前記プレナー型半導体レーザからは、前記先端のテーパー面25bに垂直な方向へ光波が放射される。ここで、前記フォトニック結晶層28には、前記プレナー型半導体レーザ25の先端部25aのテーパー面25bに対向する位置に光導波路が形成されているため、前記プレナー型半導体レーザからの漏洩光は、前記光導波路内へ導かれ、フォトニック結晶層28の回路面内を伝搬する光波に変換される。以上の動作により、前記プレナー型半導体レーザの出射光を前記光導波路に結合することができる。

【0045】尚、本発明は上記各実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術思想の範囲内において各実施形態は適宜変更され得ることは明らかである。

#### 【0046】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、フォトニック結晶と屈折率の異なる材料、望ましくは前記フォトニック結晶の屈折率より小さい屈折率を持つ材料、例えば1次元または2次元フォトニック結晶をクラッド層としてスラブ型光導波路を構成し、該スラブ型光導波路を多層化することができるので、光集積回路の著しい集積度の向上を実現することができる。

【0047】さらに、本発明のフォトニック結晶多層基板は、光導波路の終端部分に、その光導波路を伝搬する光波に共振する機構、すなわち前記光波に共振する形状と大きさを有する穴と、その周りに設けられた非加工部である共振部とからなる光伝搬モード変換器を備えた構成とする、或いは、光導波路を伝搬する光波を漏洩させて近接する他の導波路に結合させることにより信号光の受け渡しを行う機構、すなわち光デバイスの光導波路の先端をテーパー状に細くし、前記先端部に近接する別の光導波路に信号光の受け渡しを行う光伝搬モード変換器を備えた構成とすることができるため、フォトニック結晶多層基板における層間の光信号の受け渡しを実現することができる。

【0048】また、本発明のフォトニック結晶多層基板の製造方法によれば、第1の基板上にクラッド層と、回路を形成するためのフォトニック結晶層を順次積層形成する工程と、前記フォトニック結晶層に第1の光回路を形成する工程と、これとは別の第2の基板上にフォトニック結晶層とクラッド層を順次積層形成する工程と、前記第1のウエハと第2のウエハを張り合わせる工程と、その後第2のウエハの基板部分を除去する工程と、前記基板部分を除去した後に現れるフォトニック結晶層に、第2の光回路を形成する工程とを複数回繰り返すことにより、任意の層構成を有するフォトニック結晶多層基板を製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明のフォトニック結晶多層基板の一実施形態を示す斜視図である。

【図2】 図2(a)～(d)は、本発明のフォトニッ

ク結晶多層基板の製造工程を模式的に示す断面構造図である。

【図3】 図3 (a)は、クラッド層としてフォトニック結晶を用いたフォトニック結晶多層基板の例を示す斜視図であり、図3 (b)は、1次元フォトニック結晶を用いたクラッド層の一例を示す部分断面図であり、図3 (c)は、2次元フォトニック結晶を用いたクラッド層の一例を示す部分断面図である。

【図4】 図4は、本発明のフォトニック結晶多層基板が備えるモード変換器の一例を示す斜視図である。

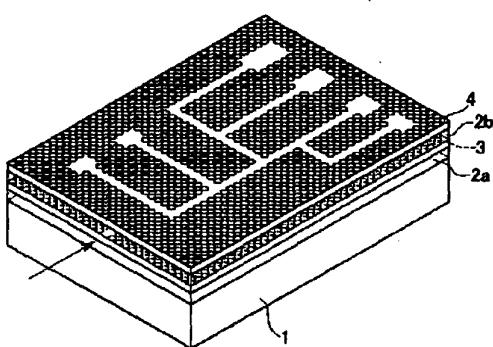
【図5】 図5 (a)は、VCSELとモード変換器を備えた本発明のフォトニック結晶多層基板の一例を示す部分断面図であり、図5 (b)は、その斜視図である。

【図6】 図6 (a)は、プレナー型半導体レーザとモード変換器を備えた本発明のフォトニック結晶多層基板の一例を示す部分断面図であり、図6 (b)は、その斜視図である。

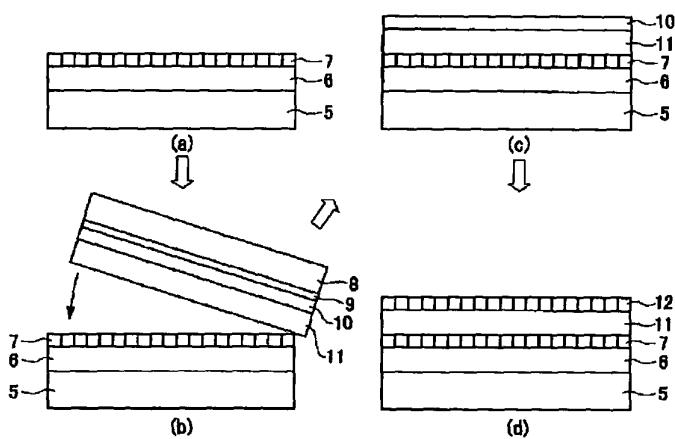
## 【符号の説明】

- 1、5、8、13…基板
- 2a、2b、6、11…クラッド層
- 3、4、7、12、15a～c、23、28…フォトニック結晶層
- 9…SiO<sub>2</sub>層
- 10…Si層
- 14a～d…クラッド層
- 16…1次元フォトニック結晶層（多層膜）
- 17…2次元フォトニック結晶層
- 18…光波
- 18a…光導波路
- 20…VCSEL
- 21、26…基板
- 22a、22b、27a、27b…クラッド層
- 24、29…モード変換器

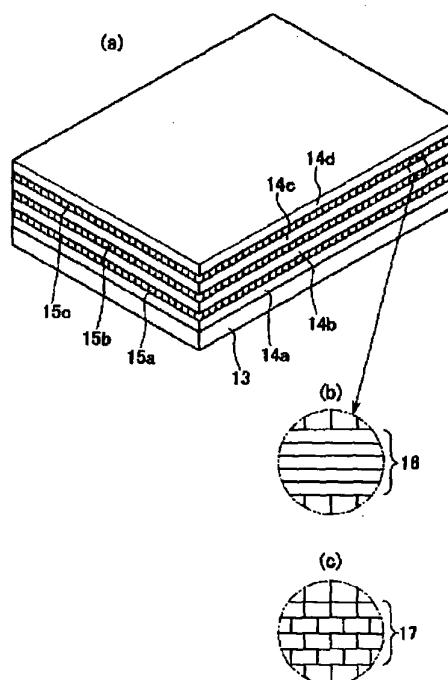
【図1】



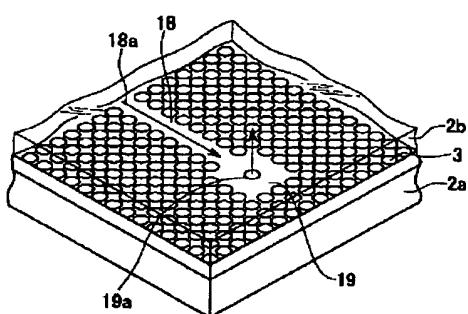
【図2】



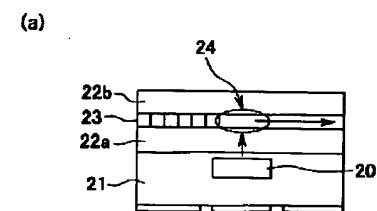
【図3】



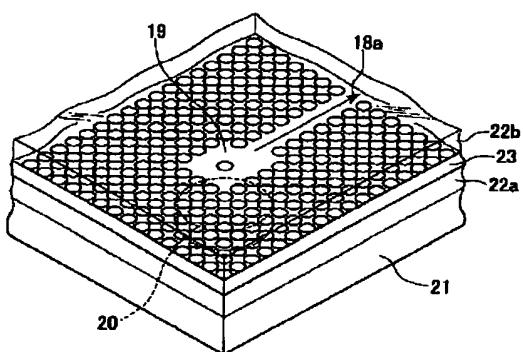
【図4】



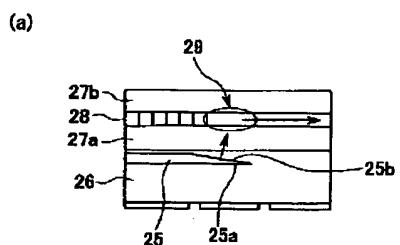
【図5】



(b)



【図6】



(b)

